

特集「氷物性と新しい物質科学」

氷物性と新しい惑星物質科学

奥地拓生¹

(要旨) 日本の氷物性の研究者が、いまフロンティアを再発見しつつある。かつて日本で大きな発展を遂げた「雪の科学」は、いわば気象学と不可分の存在であったが、70年の後に再び発展しつつある「氷物性の科学」は、惑星科学と不可分の関係にある。宇宙空間から惑星内部にわたる多様な惑星形成・進化の場には、極低温から高温、また真空から超高圧までの、あらゆる外場条件が存在する。惑星形成・進化の場では、また起こる現象の時間スケールも非常に幅広い。氷を主成分とする惑星物質は、この多様な条件に対応して、実に多様な性質を示す。本特集によって、その意味を読者に問う。

氷は過去100年にわたって科学者を魅了し続けてきた、物質科学の基礎的な題材である。かつて北大低温研において行われた雪の結晶形態の研究は、「雪は天から送られた手紙である」という格調高い言葉を生み出すとともに、その後の日本における活発な雪氷学研究の基礎をつくった[1]。この中谷宇吉郎の代表的な著書にも登場する、手書きの雪の結晶のスケッチは、今もなお時代を超えて、各国の研究者が関連する発表を行う際に用いられている[2]。そして70年後の現在、「氷は惑星から送られた手紙である」という構想のもとに、日本の氷物性の研究者が、いまフロンティアを再発見しつつある。中谷の雪の科学が、「天」つまり気象学と不可分の存在であったとするならば、この新しい氷物性の科学は、惑星科学と不可分の関係にある。これが本特集を、惑星科学の研究者たる読者諸氏に問う理由である。

実際、現代の氷物性学と惑星科学の関係はきわめて深い。太陽系周囲の宇宙空間に最も大量に存在する固体は、改めて言うまでもなく、氷である。そして宇宙空間から惑星内部にわたる多様な惑星形成・進化の場には、極低温から高温、また真空から超高圧までの、あらゆる外場条件が存在する。惑星形成・進化の場では、

また起こる現象の時間スケールも非常に幅広い。氷を主成分とする惑星物質が、この多様な条件に対応して、実に多様な性質を示すことが、最近の研究によって新たに示されてきている。

たとえば深澤裕の論文では、万〜億年の単位にわたる長い時間にわたって低温の条件にさらされた惑星間空間の氷が、自発的に強い電場を持つように結晶構造を変化させる可能性が指摘される。惑星間空間で互いに静電力で引きあう氷微粒子が存在すれば、それは重力よりも容易に合体成長をするだろう。また久保友明の論文では、太陽系外部の氷衛星内部の高圧条件において、異なる結晶構造、異なる塑性流動特性および粘弾性を持つ、数種類の氷が共存することが示される。このために天体の大きさ、表面温度および現象のタイムスケールによって、衛星をつくる氷の変形の仕方が著しく異なり、これが太陽系小天体の著しい多様性を作り出す理由の一つとなっている。

氷衛星内部の多様な氷は、さらに様々なガス分子と反応して、ガスハイドレートといわれる分子間化合物を作り出すことが知られている。ガスハイドレートのうちでも、メタンと水素のハイドレートは、エネルギー・資源工学の分野での応用が期待されることから、過去にも注目されてきた物質である。しかしその惑星

1. 名古屋大学高等研究院

構成鉱物としての側面、つまり高圧物性の研究は、巨大惑星の内部構造にとっては極めて重要でありながら、はるかに遅れている。奥地拓生、平井寿子、および町田真一の論文では、宇宙空間から氷衛星、さらに巨大氷惑星内部の高温超高压下にいたる多様な外場条件における、メタンと水素のハイドレートの生成、構造相転移、分子輸送、分解の様子が、ダイヤモンドアンビルセルを用いた最新の高圧実験によって生々しく描かれる。これらのハイドレートは、氷惑星の重要な構成鉱物であり得ることに加えて、それが包接するガス分子を放出することで、惑星や衛星の大気の形成と進化に寄与している。谷篤史の論文では、低温のメタンハイドレートにガンマ線を照射して、反応が起こりやすい状態をあえてつくり出すことで、その分子間相互作用の本質に迫ろうとする。照射後に加熱されると起こる、炭化水素の重合反応は、ガスハイドレートが複雑な有機物をつくり出す分子進化の場を与える物質にもなり得る、という新たな可能性を示唆する。そして、本特集の最後を締めくくる深澤倫子の論文では、分子進化の舞台として従来から注目されてきた氷表面の微視的な構造が、やはり外場に依存して大きく変化する様子が、分子動力学法の駆使によって鮮明に描き出される。

以上の報告は、それぞれが今後の惑星物質科学をいかに展開してゆくべきかについての提案を含んでおり、惑星形成そのほかの理論的な研究手法を用いる場合にも、斬新かつ刺激的なテーマをもたらすものであると確信している。氷の物質としての新たな可能性は、天王星や海王星のような巨大氷惑星の内部につくられた超高压高温の世界や、いま発見が相次ぐ太陽系外の惑星の構造をも考えると、今後もまだまだ広がってゆくだろう。それこそ星の数ほど存在することが確実な系外惑星の中には、天王星や海王星よりも巨大で、内部の圧力が高い惑星がたくさん存在する。巨大惑星の内部では、水が水分子の集合体から、陽子と酸素イオンのプラズマ的な集合体へと変わり、その性質にも極端な変化が起こる[3]。また町田真一が新たに示しつつ

あるように、ガスハイドレートの性質も根本的に変わる。この極端に多様な外場条件の中において、氷という一つの物質を俯瞰しつづける視線を持つことが、天からの手紙としての雪氷学の研究を超える、フロンティアの再発見をもたらすだろう。そのために、(i)幅広い温度-圧力(および応力)-時間の条件をつくりだしながら、(ii)その場で物質の状態を調べる、という二つの実験手法を、両者間で互いに技術をフィードバックさせつつ、今後もまだまだ発展させていかなければならない。

本特集では、超高压NMRやガンマ線ESRといった、日本で初めて実用化された氷物質の研究手法も含めて、物質中の水素の状態を調べる手法の現状を網羅することをも心がけた。この意味では実験科学者の本格的な興味にも十分に込められる内容であろう。各手法はともに今後の発展が期待されるが、その中でも特に、究極の構造解析手法ともいえる中性子散乱技術を高温高圧の場において自在に駆使してゆくことが、水物性研究の国際的状況を鑑みたと上の急務である。そこで日本の高圧地球惑星科学の研究者が中心となり、中性子分光技術や物性科学の研究者をも巻き込んで、高圧実験専用の中性子ビームラインを茨城県東海村に敷設する計画が、いま急ピッチで進められている[4]。高圧下において世界で最も広い温度範囲をカバーできる、このユニークなビームラインが完成すれば、世界中から氷の研究者が自発的に集まる場が新たに作り出されるだろう。2010年には、文献[2]の国際会議が約20年ぶりに日本で開催されることも決定している。このような場において「惑星からの手紙」の言葉を旗印に、水物性の研究で世界を席巻すべく、今後も努力を重ねていきたい。

最後に、非常に厳しい編集日程の中で査読を行っていただいた、香内晃、渡部直樹、田中秀和(すべて北大)、平井寿子(筑波大)、荒川政彦(名大)、近藤忠(阪大)の各氏に改めて感謝したい。本特集は全て依頼原稿で構成されているが、そのうち半数を惑星科学会には所属しない著者に依頼し、残りのうちさらに半数はごく

最近に入会された著者に依頼している。このために編集の最大の難問は、内容の専門性と重厚さに応えうる、適切な査読者を見つけることであった。もちろん、私自身も全ての論文が読者にわかりやすくなるようにできるだけ努力をした。今後は査読で悩まなくてもすむように、読者諸氏が惑星の氷の研究に新たに参入されることを期待している。

参考文献

- [1] 中谷宇吉郎, 1938, 雪 (岩波書店: 東京) 注: 1994年に岩波文庫化
- [2] たとえば 11th International Conference on the Physics and Chemistry of Ice. Bremerhaven, Germany, 2006
- [3] Cavazzoni, C. et al., 1999, Science, 283, 44
- [4] 奥地拓生, 鍵裕之, 2007, 高圧力の科学と技術, 印刷中. 注: www.highpressure.jp/journalより閲覧可能